

(54) METHOD FOR MEASURING EXHAUST VELOCITY OF VACUUM PUMP

(11) 63-5216 (A) (43) 11.1.1988 (19) JP

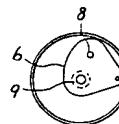
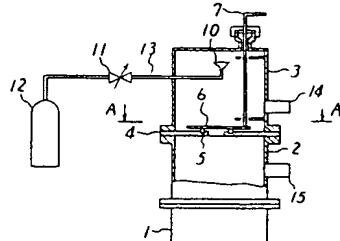
(21) Appl. No. 61-146923 (22) 25.6.1986

(71) HITACHI LTD (72) TSUNEO FUJITA

(51) Int. Cl. G01F1/42, F04B51/00

PURPOSE: To measure an exhaust velocity with high accuracy regardless of the conductance of a chamber, by obtaining the same exhaust quantity by the conductances of different orifices to measure the pressure in the chamber.

CONSTITUTION: Chambers 2, 3 for measuring an exhaust velocity are mounted on the upper part of a vacuum pump 1 and a partition plate 4 is provided between both of them. A deformable orifice plate 6 is provided on the O-ring 5 of the plate 4 and orifices 8, 9 are changed over by an operation handle 7. A gas supply nozzle 10, a leak valve 11 and a gas supply cylinder 12 are connected to the chamber 3 by piping 13 and a pressure gauge 14 for measuring the pressure of the upstream side of the plate 6 is provided on the chamber 3 while a pressure gauge 15 for measuring the pressure of the downstream side of the plate 6 is provided on the chamber 2. The pressure in the chamber 2 is brought to a constant condition by respective different orifices and, by measuring the pressure in the chamber 3 at this time, a calculation condition is obtained and an exhaust velocity can be calculated regardless of the conductances of the chambers 2, 3.



(54) ULTRASONIC CURRENT METER

(11) 63-5217 (A) (43) 11.1.1988 (19) JP

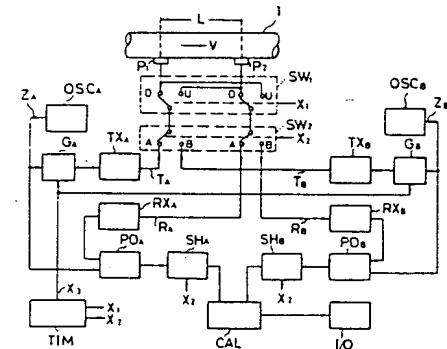
(21) Appl. No. 61-146823 (22) 25.6.1986

(71) TOKYO KEIKI CO LTD (72) YUKIO YOSHIDA

(51) Int. Cl. G01F1/66, G01P5/00

PURPOSE: To accurately measure a flow speed free of the effect of sonic velocity, by constituting the title current meter of a transmitter circuit, first and second transducers, a forward direction/reverse direction change-over circuit, a phase detector and an operator etc.

CONSTITUTION: Transmitter circuits TX_A , TX_B alternately output the transmitting signal T_A corresponding to an oscillation signal Z_A and the transmitting signal T_B corresponding to an oscillation signal Z_B with frequency close to that of the signal Z_A . Subsequently, a forward direction/reverse direction change-over circuits SW_1 , SW_2 alternately changes over transducers P_1 , P_2 to perform the transmission and reception of the first transmitting-receiving wave of a forward direction corresponding to the signal T_A , that of the second transmitting-receiving wave of the forward direction corresponding to the signal T_B , that of the first transmitting-receiving wave in a reverse direction corresponding to the signal T_A and that of the transmitting-receiving wave in the reverse direction corresponding to the signal T_B . Phase detectors PD_A , PD_B calculate the phase difference of the first transmitting-receiving wave in the forward direction, that of the first transmitting-receiving wave in the reverse direction, that of the second transmitting-receiving wave in the forward direction and that of the second transmitting-receiving wave in the reverse direction and an operator CAL calculates the flow velocity of a fluid on the basis of each phase difference.



(54) ULTRASONIC FLOWMETER

(11) 63-5218 (A) (43) 11.1.1988 (19) JP

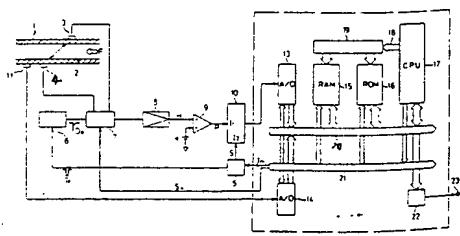
(21) Appl. No. 61-149171 (22) 25.6.1986

(71) YOKOGAWA ELECTRIC CORP (72) HIROSHI OWADA

(51) Int. Cl. G01F1/66

PURPOSE: To accurately measure the flow rate of each of various fluids having different sonic velocities in a real time, by using a model route estimated on the basis of an actually measured value and correcting the flow rate of a fluid to be measured on the basis of the flow rate correction coefficient calculated by estimating sonic velocity in the fluid to be measured.

CONSTITUTION: A change-over switch 7 is changed over to one side to set, for example, such a state that the drive pulse D_p from a drive circuit 6 is emitted from a transmitter-receiver 4 to a transmitter-receiver 3 and a propagation time T_1 is measured by an operation circuit 10. The switch 7 is changed over to measure a propagation time T_2 in the same way to calculate propagation time difference ΔT . Since the time difference ΔT is inversely proportional to a flow rate Q , the flow rate Q is calculated according to a predetermined formula. A total propagation time T_s is operated based on a predetermined formula according to a model of a propagation route. The average value of actually measured propagation times T_1 , T_2 is taken to obtain a propagation time T which is, in turn, compared with the total propagation time T_s to calculate the propagation time T_0 of the ultrasonic wave propagating through a fluid to be measured and coming to $T=T_0$ and an angle of refraction and the correction coefficient K_x to the flow rate Q is calculated. By multiplying the coefficient K_x at the operation time of the flow rate, correction having all of factors taken therein becomes possible in a real time.



(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **63005217 A**

(43) Date of publication of application: 11 . 01 . 88

(51) Int. Cl

G01F 1/66

G01P 5/00

(21) Application number: **61146823**

(71) Applicant: **TOKYO KEIKI CO LTD**

(22) Date of filing: **25 . 06 . 86**

(72) Inventor: **YOSHIDA YUKIO**

(54) ULTRASONIC CURRENT METER

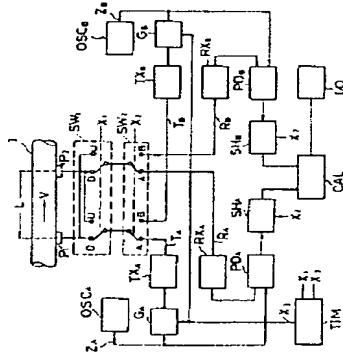
(57) Abstract:

PURPOSE: To accurately measure a flow speed free of the effect of sonic velocity, by constituting the title current meter of a transmitter circuit, first and second transducers, a forward direction/reverse direction change-over circuit, a phase detector and an operator etc.

CONSTITUTION: Transmitter circuits TXA, TXB alternately output the transmitting signal TA corresponding to an oscillation signal ZA and the transmitting signal TB corresponding to an oscillation signal ZB with frequency close to that of the signal ZA. Subsequently, a forward direction/reverse direction change-over circuits SW₁ alternately changes over transducers P₁, P₂ to perform the transmission and reception of the first transmitting-receiving wave of a forward direction corresponding to the signal TA, that of the second transmitting-receiving wave of the forward direction corresponding to the signal TB, that of the first transmitting-receiving wave in a reverse direction corresponding to the signal TA and that of the transmitting-receiving wave in the reverse direction corresponding to the transmitting-receiving wave in the reverse direction corresponding to the signal TB. Phase detectors PDA, PDB calculate the phase difference of the first transmitting-receiving wave in the forward direction, that of the first transmitting-receiving wave

in the reverse direction, that of the second transmitting-receiving wave in the forward direction and that of the second transmitting-receiving wave in the reverse direction and an operator CAL calculates the flow velocity of a fluid on the basis of each phase difference.

COPYRIGHT: (C)1988,JPO&Japio



⑨ 日本国特許庁 (JP) ⑩ 特許出願公開
⑪ 公開特許公報 (A) 昭63-5217

⑫ Int.CI.
G 01 F 1/66
G 01 P 5/00

識別記号

101

庁内整理番号

8706-2F
B-8203-2F

⑬ 公開 昭和63年(1988)1月11日

審査請求 有 発明の数 1 (全8頁)

⑭ 発明の名称 超音波流速計

⑮ 特願 昭61-146823

⑯ 出願 昭61(1986)6月25日

⑰ 発明者 吉田 幸男 東京都大田区南蒲田2丁目16番46号 株式会社東京計器内
⑱ 出願人 株式会社東京計器 東京都大田区南蒲田2丁目16番46号
⑲ 代理人 弁理士 佐藤 正年 外2名

明細書

1. 発明の名称

超音波流速計

2. 特許請求の範囲

所定周波数の第1の発振信号に対応する第1の送信信号及び該第1の発振信号に近接する周波数の第2の発振信号に対応する第2の送信信号を交互に出力する送信回路と、所定方向に流体が流れている流管に所定距離を隔てて配設され、それぞれ入力される送信信号に対応する送信波を該流管内に送信するとともに、それぞれ該送信波に対応する受信波を受信する第1のトランステューサ及び第2のトランステューサと、前記第1のトランステューサ及び前記第2のトランステューサが、それぞれ前記第1の送信信号に対応する前記流体の流れに沿う順方向の第1の送信波の送信、該順方向の第1の送信波に対応する順方向の第1の受信波の受信、前記第2の送信信号に対応する該順方向の第2の送信波の送信、該順方向の第2の送信波に対応する該順方向の第2の受信波の受信、

該第1の送信信号に対応する該流体の流れに逆らう逆方向の第1の送信波の送信、該逆方向の第1の送信波に対応する該逆方向の第1の受信波の受信、該第2の送信信号に対応する該逆方向の第2の送信波の送信及び該逆方向の第2の送信波に対応する受信波の受信を行なうように該第1のトランステューサ及び該第2のトランステューサを交互に切り替えるトランステューサ切替回路と、前記順方向の第1の送信波と前記順方向の第1の受信波との位相差、前記逆方向の第1の送信波と前記逆方向の第1の受信波との位相差、前記順方向の第2の送信波と前記順方向の第2の受信波との位相差及び前記逆方向の第2の送信波と前記逆方向の第2の受信波との位相差をそれぞれ検出する位相検出器と、前記各位相差に基づいて、前記流体の流速を算出する演算器とを備えたことを特徴とする超音波流速計。

3. 発明の詳細な説明

[産業上の利用分野]

本発明は流体中に超音波を伝搬させ、送信およ

び受信波の位相差から流体の流速を測定する超音波流速計に関する。

[従来の技術]

従来、この種の超音波流速計としては、送波用トランスデューサより連続（又はバースト波）超音波を送波し、流体中を伝搬し、受波用トランスデューサにより受波した波の、送波した波に対する位相差を求めて流体の流速を測定するものがある。

第6図は係る従来の超音波流速計のブロック図である。第6図において、TXは送信信号（電気信号）を出力する送信回路、Iは矢印F方向に流体が流れている流管、P₁及びP₂はそれぞれ送信信号に対応する送信波T（超音波）を送信し、送信波に対応する受信波Rを受信するトランスデューサ、SW₁は送信波（受信波）を流体の流れに沿う順方向又は流体の流れに逆らう逆方向に伝搬させ、順方向の受信波R_d及び逆方向の受信波R_uが得られるようにトランスデューサP₁及びP₂を切り替える順方向／逆方向切替器、RXは受信波

$$\begin{aligned}\Delta\phi &= \omega(t_u - t_d) \\ &= \frac{2\omega L}{c^2 - v^2} \cdot v \\ &= \frac{2\omega L}{c^2} \cdot v \quad (c^2 \gg v^2)\end{aligned}\quad (6)$$

となる。第6式に示すように位相差△φは 2π を周期とする周期関数である。位相差△φの検出範囲は $0 \sim 2\pi$ で、流速vが大きくなると位相差△φは、

$$\Delta\phi = 2n\pi + \Delta\phi \quad (7)$$

となり、別途nを検出することが必要になる。

[発明が解決しようとする問題点]

ところで、上記構成の従来の超音波流速計は送信波Tと受信波Rとの位相差が 2π 以上（実際は $\pi/2$ ）に相当する流速を測定することが困難であり、かつ測定値が音速の影響を受けるという問題があった。

なお、測定範囲を拡大するため、送信波Tを低周波で変調する方式もあるが、回路が複雑になってしまふ。

Rに対応する受信信号を受信する受信回路、CALは送信波Tと受信波Rとの位相差に基づいて流体の流速を算出する演算器、TIMは各部の動作を制御する信号を出力するタイマーである。

係る従来の超音波流速計において、送信波TはトランスデューサP₁とP₂との取付間隔をし、流体の流速をv、音速をc、超音波の角周波数をωとすると、

$$T = E_r \sin \omega t \quad (1)$$

で表わされ、順方向の受信波R_d及び逆方向の受信波R_uはそれぞれ、

$$R_d = E_r \sin \omega (t - t_d) \quad (2)$$

$$R_u = E_r \sin \omega (t - t_u) \quad (3)$$

で表わされる。ただし、t_d及びt_uは、

$$t_d = \frac{L}{c + v} \quad (4)$$

$$t_u = \frac{L}{c - v} \quad (5)$$

である。従って、受信波R_dと受信波R_uとの位相差△φは、

本発明は上記問題点を解決するためになされたもので、測定値が音速の影響を受けず、送信波Tと受信波Rとの位相差が 2π 以上に相当する流速であっても、正確に流速を測定できる超音波流速計を提供することを目的とする。

[問題点を解決するための手段]

そこで、本発明では所定周波数の第1の発振信号に対応する第1の送信信号及び第1の発振信号に近接する周波数の第2の発振信号に対応する第2の送信信号を交互に出力する送信回路と、所定方向に流体が流れている流管に所定距離を隔てて配置され、それぞれ入力される送信信号に対応する送信波を流管内に送信するとともに、それぞれ送信波に対応する受信波を受信する第1のトランスデューサ及び第2のトランスデューサと、第1のトランスデューサ及び第2のトランスデューサが、それぞれ第1の送信信号に対応する流体の流れに沿う順方向の第1の送信波の送信、順方向の第1の送信波に対応する順方向の第1の受信波の受信、第2の送信信号に対応する順方向の第2の

送信波の送信、順方向の第2の送信波に対応する順方向の第2の受信波の受信、第1の送信信号に対応する流体の流れに逆らう逆方向の第1の送信波の送信、逆方向の第1の送信波に対応する逆方向の第1の受信波の受信、第2の送信信号に対応する逆方向の第2の送信波の送信及び逆方向の第2の送信波に対応する受信波の受信を行なうように第1のトランスデューサ及び第2のトランスデューサを交互に切り替えるトランスデューサ切替回路と、順方向の第1の送信波と順方向の第1の受信波との位相差、逆方向の第1の送信波と逆方向の第1の受信波との位相差、順方向の第2の送信波と順方向の第2の受信波との位相差及び逆方向の第2の送信波と逆方向の第2の受信波との位相差をそれぞれ算出する位相検出器と、各位相差に基づいて、流体の流速を算出する演算器とから超音波流速計を構成する。

【作用】

上記構成の超音波流速計は、送信回路が第1の発振信号に対応する第1の送信信号及び第1の発

の受信波との位相差を算出し、演算器が各位相差に基づいて、流体の流速を算出する。

【実施例】

以下、本発明の一実施例を添付図面を参照して詳細に説明する。

第1図は本発明に係る超音波流速計のブロック図である。第1図において、 OSC_A は周波数 f_A の発振信号 Z_A を常時出力しているA系発振器、 OSC_B は周波数 f_A に近い周波数 f_B の発振信号 Z_B を常時出力しているB系発振器、 G_A 及び G_B はそれぞれ発振信号 Z_A 及び発振信号 Z_B に対応するバースト信号を出力するA系ゲート回路及びB系ゲート回路、 TX_A 及び TX_B はそれぞれA系ゲート回路 G_A 及びB系ゲート回路 G_B が出力するバースト信号を増幅し、それぞれ送信信号 T_A 及び T_B を出力するA系送信回路及びB系送信回路、 RX_A は送信信号 T_A 及び T_B 並びに後述する受信信号 R_A 及び R_B を交互に出力するA系/B系切替回路、 SW_1 は順方向/逆方向切替回路、 V は矢印 V 方向に流体が流れている流管、

振信号に近接する周波数の第2の発振信号に対応する第2の送信信号を交互に出力し、トランスデューサ切替回路が第1のトランスデューサ及び第2のトランスデューサを交互に切り替え、第1のトランスデューサ及び第2のトランスデューサが第1の送信信号に対応する順方向の第1の送信波の送信、順方向の第1の送信波に対応する順方向の第1の受信波の受信、第2の送信信号に対応する順方向の第2の送信波の送信、順方向の第2の送信波に対応する順方向の第2の受信波の受信、第1の送信信号に対応する逆方向の第1の送信波の送信、逆方向の第1の送信波に対応する逆方向の第1の受信波の受信、第2の送信信号に対応する逆方向の第2の送信波の送信、逆方向の第2の送信波に対応する逆方向の第2の受信波の受信を行なわせ、位相検出器が順方向の第1の送信波と順方向の第1の受信波との位相差、逆方向の第1の送信波と逆方向の第1の受信波との位相差、順方向の第2の送信波と順方向の第2の受信波との位相差及び逆方向の第2の送信波と逆方向の第2の受信波との位相差をそれぞれ算出する位相検出器と、各位相差に基づいて、流体の流速を算出する演算器とから超音波流速計を構成する。

P_A 及び P_B は流管 V に距離 L を隔てて配設されたトランスデューサ、 RX_A 及び RX_B はA系受信回路及びB系受信回路、 PDA はA系位相検出器、 PDB はB系位相検出器、 SH_A はA系位相検出器、 SH_B はB系位相検出器 PDA が output する位相差に対応する信号をサンプリングしてホールドするサンプルホールド回路、 SH_A はB系位相検出器 PDB が output する位相差に対応する信号をサンプリングしてホールドするサンプルホールド回路、 CAL はサンプルホールド回路 SH_A 及び SH_B から入力される位相差に基づいて、流体の流速 V を計算する演算器、 I/O は演算器 CAL の算出結果をアナログ指示するアナログ指示計又はデジタル表示するデジタル表示器等に接続される入出力回路、 TIM は全体の動作を制御する順方向/逆方向切替信号 X_1 、A系/B系切替信号 X_2 及び送信コントロール信号 X_3 を発生するタイマーであり、第1図には主要信号のみ指示してある。

次に、本発明に係る超音波流速計の動作について、第2図のタイミングチャートを参照して説明

する。まず、A系ゲート回路 G_A 及びB系ゲート回路 G_B は、それぞれ第2図(c)に示す周期 T_A の送信制御信号 X_A により開閉動作し、それぞれA系発振器 OSC_A の発振信号 Z_A 及びB系発振器 OSC_B の発振信号 Z_B をサンプリングし、バースト信号を出力する。A系ゲート回路 G_A 及びB系ゲート回路 G_B の動作に同期して、A系/B系切替回路 SW_1 は第2図(b)に示す周期 T_A のA系/B系切替信号 X_1 により切り換えられ、第2図(d)に示す送信信号 T_A 及び T_B を交互に出力する。

次いで、順方向/逆方向切替回路 SW_1 は第2図(a)に示す周期 T_A の2倍の周期 T_1 の順方向/逆方向切替信号 X_1 により切り換えられる。A系/B系切替回路 SW_2 及び順方向/逆方向切替回路 SW_1 の切り換えにより、トランステューサ P_1 及びトランステューサ P_2 は以下に示す送信波の送信及び受信波の受信を行なう。第1に、順方向/逆方向切替回路 SW_1 がD側(順方向側)に、A系/B系切替回路 SW_2 がA系側にそれぞれ切り換え

ここで、A系の順方向の送信波 T_{Ad} 及び逆方向の送信波 T_{Au} 並びにB系の順方向の送信波 T_{Bd} 及び逆方向の送信波 T_{Bu} はそれぞれ、

$$T_{Ad} = T_{Au} = \sin(2\pi f_A t) \quad (8)$$

$$T_{Bd} = T_{Bu} = \sin(2\pi f_B t) \quad (9)$$

と表わせられる。又、A系の順方向の受信波 R_{Ad} 及び逆方向の受信波 R_{Au} 並びにB系の順方向の受信波 R_{Bd} 及び逆方向の受信波 R_{Bu} は距離 L を伝搬するのに必要な時間だけ遅れた位相になりそれぞれ、

$$\begin{aligned} R_{Ad} &= \sin\left(2\pi f_A\left(t - \frac{L}{c+v}\right)\right) \\ &= \sin\left(2\pi f_A t - \Phi_{Ad}\right) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} R_{Au} &= \sin\left(2\pi f_A\left(t - \frac{L}{c-v}\right)\right) \\ &= \sin\left(2\pi f_A t - \Phi_{Au}\right) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} R_{Bd} &= \sin\left(2\pi f_B\left(t - \frac{L}{c+v}\right)\right) \\ &= \sin\left(2\pi f_B t - \Phi_{Bd}\right) \end{aligned} \quad (12)$$

$$R_{Bu} = \sin\left(2\pi f_B\left(t - \frac{L}{c-v}\right)\right)$$

られると、トランステューサ P_1 はA系の送信信号 T_A に対応する順方向の送信波 T_{Ad} を送信し、トランステューサ P_2 はA系の順方向の受信波 R_{Ad} を受信する。第2に、順方向/逆方向切替回路 SW_1 がD側に、A系/B系切替回路 SW_2 がB系側にそれぞれ切り換えられると、トランステューサ P_1 はB系の送信信号 T_B に対応する順方向の送信波 T_{Bd} を送信し、トランステューサ P_2 はB系の順方向の受信波 R_{Bd} を受信する。第3に、順方向/逆方向切替回路 SW_1 がU側(逆方向側)に、A系/B系切替回路 SW_2 がA系側にそれぞれ切り換えられると、トランステューサ P_1 はA系の送信信号 T_A に対応する逆方向の送信波 T_{Au} を送信し、トランステューサ P_2 はA系の逆方向の受信波 R_{Au} を受信する。第4に、順方向/逆方向切替回路 SW_1 がU側に、A系/B系切替回路 SW_2 がB系側にそれぞれ切り換えられると、トランステューサ P_1 はB系の逆方向の送信波 T_{Bu} を送信し、トランステューサ P_2 はB系の逆方向の受信波 R_{Bu} を受信する。

$$= \sin(2\pi f_B t - \Phi_{Bu}) \quad (13)$$

と表わせられる。ただし、 Φ_{Ad} 、 Φ_{Au} 、 Φ_{Bd} 及び Φ_{Bu} は、それぞれA系の順方向の位相差、A系の逆方向の位相差、B系の順方向の位相差及びB系の逆方向の位相差とする。

次いで、A系受信回路 RX_A はA系の順方向の受信波 R_{Ad} 及びA系の逆方向の受信波 R_{Au} に対応する受信信号 R_A を受信し、B系受信回路 RX_B はB系の順方向の受信波 R_{Bd} 及びB系の逆方向の受信波 R_{Bu} に対応する受信信号 R_B を受信する。

次いで、A系位相検出器 PD_A は送信波 T_{Ad} と受信波 R_{Ad} との位相差 ϕ_{Ad} に対応する信号及び送信波 T_{Au} と受信波 R_{Au} との位相差 ϕ_{Au} に対応する信号を出力する。同様に、B系位相検出器 PD_B は送信波 T_{Bd} と受信波 R_{Bd} との位相差 ϕ_{Bd} に対応する信号及び送信波 T_{Bu} と受信波 R_{Bu} との位相差 ϕ_{Bu} に対応する信号を出力する。

次いで、サンプルホールド回路 SHA はA系/B系切替信号 X_1 に制御され、A系位相検出器 PD_A が出力する位相差 ϕ_{Ad} 及び ϕ_{Au} に対応する信号を

サンプリングしてホールドする。又、サンプルホールド回路 SH_a は A 系 / B 系切替信号 X_2 に制御され、B 系位相検出器 PD_b が出力する位相差 Φ_{ba} 及び Φ_{bu} に対応する信号をサンプリングしてホールドする。サンプルホールド回路 SH_A 及び SH_B はそれぞれ送信波の周期と同じ周期のランプ電圧を発生させ、これを受信波のゼロクロス点でサンプリングし、ホールドするものである。

次いで、演算器 CAL は適宜のタイミング信号によりサンプルホールド回路 SH_A 及び SH_B から入力される位相差 Φ_{ad} 、 Φ_{au} 、 Φ_{bd} 及び Φ_{bu} に基づいて、流体の流速 V を計算する。

ここで、A 系の受信波 R_{Ad} と R_{bd} との平均値 \bar{R}_d 及び B 系の受信波 R_{Au} と R_{bu} との平均値 \bar{R}_u は、

$$\begin{aligned} \bar{R}_d &= \frac{1}{2} (R_{Ad} + R_{bd}) \\ &= \sin(\pi (f_A + f_b) t - \frac{\Phi_{Ad} + \Phi_{bd}}{2}) \\ &\cdot \cos(\pi (f_A - f_b) t - \frac{\Phi_{Ad} - \Phi_{bd}}{2}) \quad (14) \end{aligned}$$

式の低周波成分 R_u は、第14式及び第15式の包絡線であり、 f_o 、 Φ_d 及び Φ_u はそれぞれ包絡線の周波数、順方向の位相差の差及び逆方向の位相差の差である。

一方、A 系発振器 OSC_A の周波数 f_A と B 系発振器 OSC_B の周波数 f_b との差をとることは、ビート波の位相を求めるに相当する。従って、A 系発振器 OSC_A の周波数 f_A と B 系発振器 OSC_B の周波数 f_b とを近接して選べば、ビート波の周波数を低くすることができ、流速の広い範囲にわたつて、

$$\Phi_d < 2\pi \quad (21)$$

及び

$$\Phi_u < 2\pi \quad (22)$$

を保つことができる。

ここで、距離しだけ離れたときの波長 λ_d 、 λ_u と位相差の差 Φ_d 、 Φ_u との関係は、

$$L/\lambda_d = \Phi_d / 2\pi \quad (23)$$

$$L/\lambda_u = \Phi_u / 2\pi \quad (24)$$

となる。又、音速 C と波長 λ_d 、 λ_u の関係は、

$$\begin{aligned} R_u &= \frac{1}{2} (R_{Au} + R_{bu}) \\ &= \sin(\pi (f_A + f_b) t - \frac{\Phi_{Au} + \Phi_{bu}}{2}) \\ &\cdot \cos(\pi (f_A - f_b) t - \frac{\Phi_{Au} - \Phi_{bu}}{2}) \quad (15) \end{aligned}$$

である。又、A 系の受信波の平均値 \bar{R}_d の低周波成分 R_d 及び B 系の受信波の平均値 \bar{R}_u の低周波成分 R_u はそれぞれ、

$$\begin{aligned} R_d &= \cos(\pi (f_A - f_b) t - \frac{\Phi_{Ad} - \Phi_{bd}}{2}) \\ &= \cos(2\pi f_o t - \Phi_d) \quad (16) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_u &= \cos(\pi (f_A - f_b) t - \frac{\Phi_{Au} - \Phi_{bu}}{2}) \\ &= \cos(2\pi f_o t - \Phi_u) \quad (17) \end{aligned}$$

となる。ただし、

$$\Phi_d = \frac{\Phi_{Ad} - \Phi_{bd}}{2} \quad (18)$$

$$\Phi_u = \frac{\Phi_{Au} - \Phi_{bu}}{2} \quad (19)$$

$$f_o = \frac{f_A - f_b}{2} \quad (20)$$

である。なお、第16式の低周波成分 R_d 及び第17式の低周波成分 R_u は、

$$\lambda_d = (C + V) / f_o \quad (25)$$

$$\lambda_u = (C - V) / f_o \quad (26)$$

となる。従って、第16式、第17式、第23式及び第24式より、

$$\begin{aligned} L &= \lambda_d \cdot \frac{\Phi_d}{2\pi} \\ &= \frac{\Phi_{Ad} - \Phi_{bd}}{2\pi (f_A - f_b)} (C + V) \quad (27) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L &= \lambda_u \cdot \frac{\Phi_u}{2\pi} \\ &= \frac{\Phi_{Au} - \Phi_{bu}}{2\pi (f_A - f_b)} (C - V) \quad (28) \end{aligned}$$

となる。

演算器 CAL は第27式～第28式から流速 V を、

$$\begin{aligned} V &= \pi L (f_A - f_b) \\ &\cdot \left(\frac{1}{\Phi_{Ad} - \Phi_{bd}} - \frac{1}{\Phi_{Au} - \Phi_{bu}} \right) \quad (29) \end{aligned}$$

により算出する。距離 L 及び A 系発振器 OSC_A の周波数 f_A と B 系発振器 OSC_B の周波数 f_b との差

$$(f_A - f_b) \quad (30)$$

は定数であるので、演算器 CAL は A 系の順方向の位相差 Φ_{Ad} と B 系の順方向の位相差 Φ_{Au}

$$(\Phi_{A_d} - \Phi_{B_d})$$

(31)

及び A 系の逆方向の位相差 Φ_{A_u} と B 系の逆方向の位相差 Φ_{B_u} 。

$$(\Phi_{A_u} - \Phi_{B_u})$$

(32)

から流速 V を算出することができる。ある。

流速 V は第 29 式に示すように音速に無関係である。従って、A 系発振器 OSC_A の周波数 f_A 及び B 系発振器 OSC_B の周波数 f_B を適当に選べば、A 系の順方向の位相差 Φ_{A_d} 、A 系の逆方向の位相差 Φ_{A_u} 、B 系の順方向の位相差 Φ_{B_d} 及び B 系の逆方向の位相差 Φ_{B_u} がそれぞれ $\pi/2$ を超えても、

$$|\Phi_{A_d} - \Phi_{B_d}| < \pi/2 \quad (33)$$

及び

$$|\Phi_{A_u} - \Phi_{B_u}| < \pi/2 \quad (34)$$

を保つことが可能であり、広範囲にわたって流速 V を測定することができる。

従来の超音波流速計では、超音波の周波数 $f = 40\text{kHz}$ 、音速 $C = 340\text{m/s}$ 、トランスデューサ P_1 と P_2 との距離 $L = 0.2\text{m}$ 、流速 $V = 10\text{m/s}$ のとき、A 系の順方向の位相差 Φ_{A_d} は、

$$|\Phi_{A_d} - \Phi_{B_d}| = 0.49\pi < \pi/2 \quad (43)$$

になり、 $\pi/2$ 以下となる。

なお、流速 V に所定の係数を乗じて、流量を算出するようにしてよい。

次いで、入出力回路 I/O は演算器 CAL の算出結果をアナログ指示するアナログ指示計又はデジタル表示するデジタル表示器等（図示せず）に出力する。

なお、順方向／逆方向切替回路 SW_1 、A 系／B 系切替回路 SW_2 の切替えシーケンスは順方向／逆方向及び A 系／B 系が均等に切替えられれば、必ずしもこの順序でなくとも良い。

次に、第 3 図は本発明に係る超音波流速計の他の実施例を示すブロック図である。なお、第 3 図において、第 1 図と同様の機能を果たす部分については同一の符号を付し、その説明は省略する。

本実施例では発振器 OSC_A 、 OSC_B 、サンプルホールド回路 S_{HA} 及び S_{HB} を上記実施例と同様に 1 組設けたが、ゲート回路 G 、送信回路 TX 、受信回路 RX 、位相検出器 PD を 1 個で構成した。これによ

$$\Phi_{A_d} = 4\pi f \frac{L}{C^2 - V^2}$$

$$= 2.77\pi \text{ (rad)} > 2\pi \quad (35)$$

であった。しかし、本発明に係る超音波流速計では、A 系発振器 OSC_A の発振周波数 $f_A = 40\text{kHz}$ 、B 系発振器 OSC_B の発振周波数 $f_B = 40.4\text{kHz}$ のとき、A 系の順方向の位相差 Φ_{A_d} 、A 系の逆方向の位相差 Φ_{A_u} 、B 系の順方向の位相差 Φ_{B_d} 、B 系の逆方向の位相差 Φ_{B_u} はそれぞれ、

$$\Phi_{A_d} = 2\pi f_A \left(\frac{L}{C + V} \right) = 45.71\pi \quad (36)$$

$$\Phi_{A_u} = 2\pi f_A \left(\frac{L}{C - V} \right) = 48.49\pi \quad (37)$$

$$\Phi_{B_d} = 2\pi f_B \left(\frac{L}{C + V} \right) = 46.17\pi \quad (38)$$

$$\Phi_{B_u} = 2\pi f_B \left(\frac{L}{C - V} \right) = 48.97\pi \quad (39)$$

となり、

$$\Phi_{A_u} - \Phi_{A_d} = 2.78\pi \quad (40)$$

$$\Phi_{B_u} - \Phi_{B_d} = 2.80\pi \quad (41)$$

であるのに対し、

$$|\Phi_{A_d} - \Phi_{B_d}| = 0.46\pi < \pi/2 \quad (42)$$

り、A 系と B 系とが共通に動作するので、構成要素が少なくなるばかりか、A 系、B 系のそれぞれのハードウェアのもつ特性のバラツキ、ドリフトを補償することができる。ただし、送信回路 TX 、受信回路 RX は周波数 f_A 、 f_B に対して同様に作動する必要性から、第 1 図に示したものに比べて広帯域であることが要求される。

次に、第 4 図及び第 5 図は本発明に係る超音波流速計の他の実施例を示す主要部分のブロック図である。第 4 図の実施例では、1 組の発振器 OSC_A 、 OSC_B の代わりに単一の発振器 OSC を用い、タイマー TIM の信号により分周器 DIV の分周比を変えることにより周波数 f_A 、 f_B を発生させるものである。

又、第 5 図の実施例では、分周器 DIV の代わりに電圧可変周波数発振器 VCO 、位相比較器、フィルター及びアンプを含むコントローラ $CONT$ 、カウンタ CNT よりなるフェーズロックループを用いたものである。

上記実施例では、サンプルホールド回路を 2 組、

使用しているが、サンプリングホールド回路を4組使用し、A系/B系、順方向/逆方向それぞれに対して専用として用いることができる。又、全く1個のサンプルホールド回路を交互に使用するようにすることもできる。

【発明の効果】

以上説明したように本発明によれば、順方向に送信される第1の周波数に対応する送信波と受信波との位相差 ϕ_{Ad} 、逆方向に送信される第1の周波数に対応する送信波と受信波との位相差 ϕ_{Au} 、順方向に送信される第1の周波数に近接する第2の周波数に対応する送信波と受信波との位相差 ϕ_{Bd} 及び逆方向に送信される第2の周波数に対応する送信波と受信波との位相差 ϕ_{Bu} に基き、流体の流速Vを、

$$V = \pi L \left(f_A - f_B \right) \cdot \left(\frac{1}{\phi_{Ad} - \phi_{Bd}} - \frac{1}{\phi_{Au} - \phi_{Bu}} \right)$$

により算出するようにしたので、音速の影響を受けずに、流速を広範囲にわたって測定できる超音

波流速計を得ることができる。

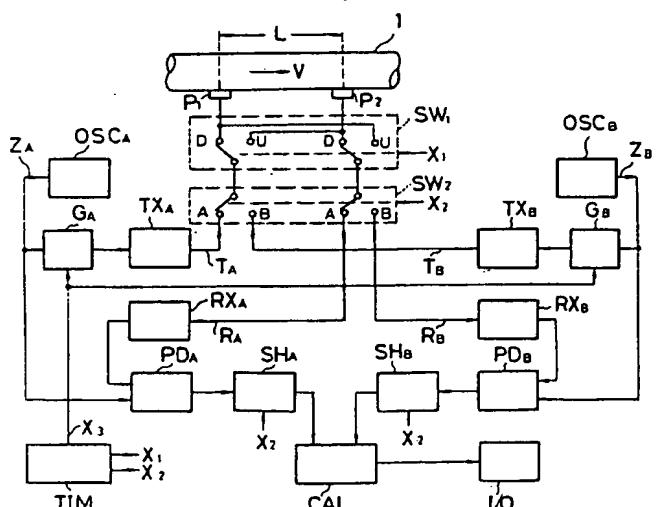
4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明に係る超音波流速計のブロック図、第2図は第1図に示した超音波流速計の動作を示すタイミングチャート、第3図は本発明に係る超音波流速計の他の実施例を示すブロック図、第4図及び第5図は本発明に係る超音波流速計のは他の実施例を示す主要部分のブロック図、第6図は従来の超音波流速計のブロック図である。

各図中、 OSC_A 、 OSC_B は発振器、 G_A 、 G_B はゲート回路、 TX_A 、 TX_B は送信回路、 SW_1 は順方向/逆方向切替回路、 SW_2 はA系/B系切替回路、 L は流管、 P_1 、 P_2 はトランステューサ、 RX_A 、 RX_B は受信回路、 PDA 、 PDB は位相検出器、 SHA 、 SHB はサンプルホールド回路、 CAL は演算器、 TIM はタイマー、 I/O は入出力回路である。

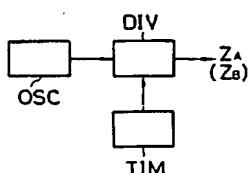
代理人弁理士佐藤正年

第1図

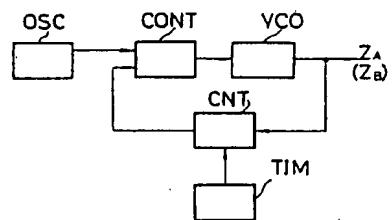


1: 流管
 OSC_A, OSC_B : 発振器
 G_A, G_B : ゲート回路
 TX_A, TX_B : 送信回路
 SW_1 : 順方向/逆方向切替回路
 SW_2 : A系/B系切替回路
 P_1, P_2 : トランステューザ
 RX_A, RX_B : 受信回路
 PDA, PDB : 位相検出器
 SHA, SHB : サンプルホールド回路
 CAL : 演算器
 TIM : タイマー
 I/O : 入出力回路

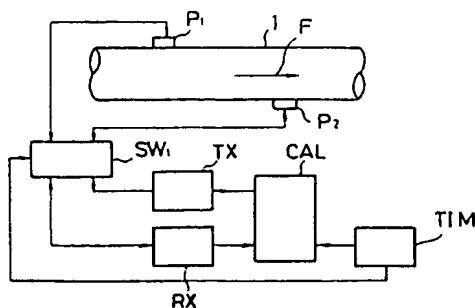
第4図



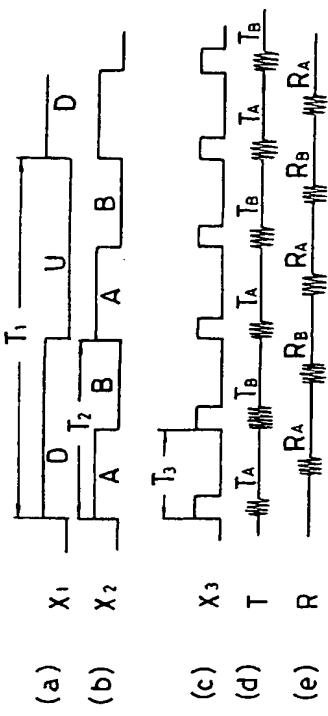
第5図



第6図



第2図



第3図

